
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2015/2016 Academic Session

December 2015 / January 2016

EBP 306/3 – Properties of Polymer Materials Engineering [Sifat-sifat Kejuruteraan Bahan Polimer]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please ensure that this examination paper contains ELEVEN printed pages before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi SEBELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

This paper consists of SEVEN questions. THREE questions in PART A and FOUR questions in PART B.

[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan. TIGA soalan di BAHAGIAN A dan EMPAT soalan di BAHAGIAN B.]

Instruction: Answer FIVE questions. Answer ALL questions from PART A and TWO questions from PART B. If a candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

[Arahan: Jawab LIMA soalan. Jawab SEMUA soalan dari BAHAGIAN A dan DUA soalan dari BAHAGIAN B. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

The answers to all questions must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk semua soalan pada muka surat yang baru.]

You may answer a question either in Bahasa Malaysia or in English.

[Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]

In the event of any discrepancies in the examination questions, the English version shall be used.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunapakai.]

PART A / BAHAGIAN A

1. [a] An elastomeric seal is interposed between a box and its lid to provide waterproofness. Deformation of the seal is maintained constant. The behaviour of this elastomer can be represented by a Maxwell model. Calculate E (modulus) and η (viscosity) considering that:

- The lid closing system causes a deformation of 5% and the initial reaction pressure is 0.1 MPa.
- After 30 days, this reaction pressure has reduced 10%.

When the reaction pressure becomes equal to 10% of its initial value, waterproofness will no longer exist. Calculate the duration time after which the seal will fail.

Suatu kedap bahan elastomer diselitkan di antara kotak dan penutupnya agar kotak tersebut kalis air. Ubah bentuk kedap dikekalkan malar. Kelakuan bahan elastomer ini boleh diwakili oleh model Maxwell. Kirakan E (modulus) dan η (keklikatan) dengan mempertimbangkan:

- *Sistem penutupan penutup menghasilkan ubah bentuk sebanyak 5% dan tekanan tindak balas mula adalah 0.1 MPa.*
- *Selepas 30 hari, tekanan tindak balas telah berkurang 10%.*

Apabila tekanan tindak balas adalah 10% dari nilai asalnya, sifat kalis air tidak lagi wujud. Kirakan tempoh masa yang mana kedap tersebut gagal.

(30 marks/markah)

- [b] Stress relaxation modulus, $M(t)$, of a polymer at 30°C is expressed as

$$M(t) = 2 t^{-0.05}$$

where $M(t)$ is in GPa and t is in second. If the glass transition temperature of the polymer is 30°C , use the WLF equation and determine the 1-year relaxation modulus of the polymer at 60°C .

$$\text{WLF equation: } \log a_t = \frac{-17.4 (T - T_g)}{51.6 + (T - T_g)}$$

Modulus pengenduran tegasan, $M(t)$, bagi suatu polimer pada 30°C boleh diungkapkan sebagai

$$M(t) = 2 t^{-0.05}$$

di mana $M(t)$ dalam unit GPa dan t dalam saat. Jika suhu peralihan kaca bagi polimer tersebut adalah 30°C , guna persamaan WLF dan tentukan modulus pengenduran bagi polimer tersebut pada suhu 60°C untuk 1 tahun.

$$\text{WLF equation: } \log a_t = \frac{-17.4 (T - T_g)}{51.6 + (T - T_g)}$$

(20 marks/markah)

- [c] Prove that Maxwell model is the best to describe the response of a viscoelastic material in a stress relaxation test.

Buktikan bahawa Maxwell model adalah yang terbaik bagi menerangkan kelakuan suatu bahan viskoelastik semasa ujian pengenduran tegasan.

(50 marks/markah)

2. [a] A plastic which can have its creep behaviour described by a Maxwell model is to be subjected to the stress history shown in Figure 1. If the spring and dashpot constants for this model are 20 GNm^{-2} and 1000 GNm^{-2} , respectively then predict the strains in the material after 150, 350 and 450 seconds.

Suatu bahan plastik di mana sifat kripnya diterangkan oleh model Maxwell dikenakan sejarah tegasan seperti ditunjukkan pada Rajah 1. Jika pemalar bagi spring dan daspot masing-masing ialah 20 GNm^{-2} dan 1000 GNm^{-2} , ramalkan terikan yang dialami oleh bahan selepas 150, 350 dan 450 saat.

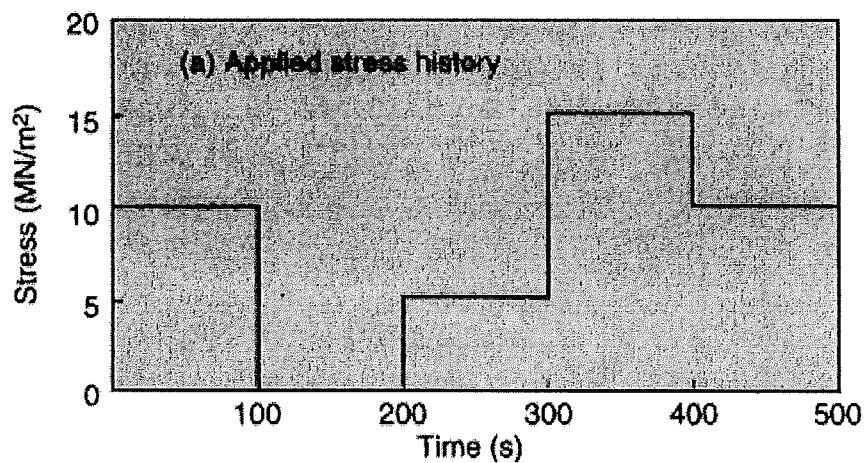


Figure 1 - Stress history for a plastic subjected to creep test

Rajah 1 - Sejarah tegasan suatu bahan plastik yang dikenakan ujian krip

(30 marks/markah)

- [b] A viscoelastic polymer that follows the Boltzmann superposition principle had the following loading history: At $t = 0$, a stress of 10 MNm^{-2} was applied for 100 s. The stress then was removed immediately. Given: $J_0 = 2 \text{ m}^2 \text{ GN}^{-1}$ and $\tau_0 = 200 \text{ s}$

$$J(t) = J_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right) \right)$$

Calculate the total strain after 100 and 200 s.

Suatu polimer likat kenyal yang mematuhi prinsip superposisi Boltzmann telah dikenakan sejarah tegasan yang berikut. Pada $t = 0$, tegasan sebanyak 10 MNm^{-2} telah dikenakan selama 100 s. Tegasan tersebut kemudiannya dilepaskan serta merta. Diberi $J_0 = 2 \text{ m}^2 \text{ GN}^{-1}$ dan $\tau_0 = 200 \text{ s}$

$$J(t) = J_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right) \right)$$

Kirakan jumlah terikan selepas 100 dan 200 s.

(20 marks/markah)

- [c] A master curve for polyisobutylene indicates that stress relaxes to a modulus of 10 dyn/cm^2 in about 10 h at 25°C . Using the WLF equation,
- Calculate the glass transition temperature (T_g) for polyisobutylene. It is given that at T_g , the modulus is observed at $2.0 \times 10^{12} \text{ h}$.
 - Estimate the time it will take to reach the same modulus at temperature of -20°C .

Keluk induk bagi poliisobutilena menunjukkan tegasan mengendur ke suatu modulus 10 dyn/cm^2 dalam tempoh 10 jam pada 25°C . Dengan menggunakan persamaan WLF,

- Kirakan suhu peralihan kaca bagi poliisobutilena. Pada T_g , modulus tersebut diperhatikan pada $2.0 \times 10^{12} \text{ jam}$.*
- Anggarkan masa yang diperlukan bagi mencapai modulus tersebut pada suhu -20°C .*

(20 marks/markah)

- [d] Discuss all the factors that affecting yield behaviour of polymers.

Bincangkan semua faktor-faktor yang mempengaruhi kelakuan alah polimer.

(30 marks/markah)

3. [a] With the sketch of force versus temperature curve, explain how both entropy change per unit extension (Equation 1) and internal energy (Equation 2) are dependent on temperature.

Dengan lakaran lengkungan bebanan melawan suhu, terangkan bagaimana kedua-dua "entropy change per unit extension" (Persamaan 1) dan "internal energy" (Persamaan 2) bergantung kepada suhu.

$$(dS/dl)_T = -(df/dT)_l \quad \text{Equation 1 / Persamaan 1}$$

$$(dU/dl)_T = f - T(df/dT)_l \quad \text{Equation 2 / Persamaan 2}$$

(70 marks/markah)

- [b] Write a short essay on network defect and its application in rubber elasticity.

Tuliskan nota ringkas tentang kecacatan rangkaian dan kegunaannya dalam kekenyalan getah.

(30 marks/markah)

PART B / BAHAGIAN B

4. Single-edge-notched bending test as shown in Figure 2 were performed on rectangular polycarbonate (PC) bars with dimensions $B = 5 \text{ mm}$, $W = 10 \text{ mm}$, and $S = 80 \text{ mm}$. The PC has $E = 3.5 \text{ GPa}$, $\nu = 0.40$, $\sigma_y = 65 \text{ MPa}$, and $G_{IC} = 1.5 \text{ kJm}^{-2}$ in plane strain.

Ujian lenturan takuk sisi tunggal seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2 telah dijalankan pada bar polikarbonat (PC) segi empat tepat dengan dimensi $B = 5 \text{ mm}$, $W = 10 \text{ mm}$ dan $S = 80 \text{ mm}$. PC mempunyai $E = 3.5 \text{ GPa}$, $\nu = 0.40$, $\sigma_y = 65 \text{ MPa}$ dan $G_{IC} = 1.5 \text{ kJm}^{-2}$ dalam terikan satah.

- [a] Calculate the force required to fracture the bar when $a = 5 \text{ mm}$.

Kira daya yang diperlukan untuk mematahkan bar apabila $a = 5 \text{ mm}$.

(50 marks/markah)

- [b] Calculate the minimum a to initiate brittle fracture before first yield. For this geometry ($S/W = 8$), use the expression for Y as stated below:

Kirakan nilai minimum a untuk memulakan rekahan rapuh sebelum alah pertama. Untuk geometri ini ($S/W = 8$), gunakan ungkapan untuk Y seperti yang dinyatakan di bawah:

$$Y = 1.11 - 1.55 (a/W) + 7.71 (a/W)^2 - 13.5 (a/W)^3 + 14.2 (a/W)^4$$

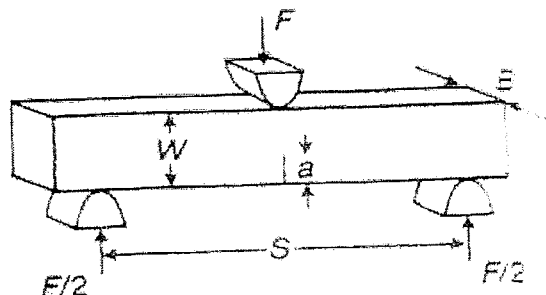


Figure 2 - Single-edge-notched bending test

Rajah 2 - Ujian lenturan takuk sisi tunggal

(50 marks/markah)

...8/-

5. [a] Discuss the theory of rubber toughening and standard process to mix the matrix polymer with the rubber.

Bincangkan teori peliatan getah dan proses asas untuk mencampurkan polimer matriks dengan getah.

(40 marks/markah)

- [b] Define the term crazing phenomenology.

Takrifkan terma fenomenologi keretakan halus.

(10 marks/markah)

- [c] Discuss the macroscopic mechanism of craze-crack and craze propagation as shown in Figure 3.

Bincangkan mekanisme makroskopik retak halus-retak dan perambatan retak halus seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.

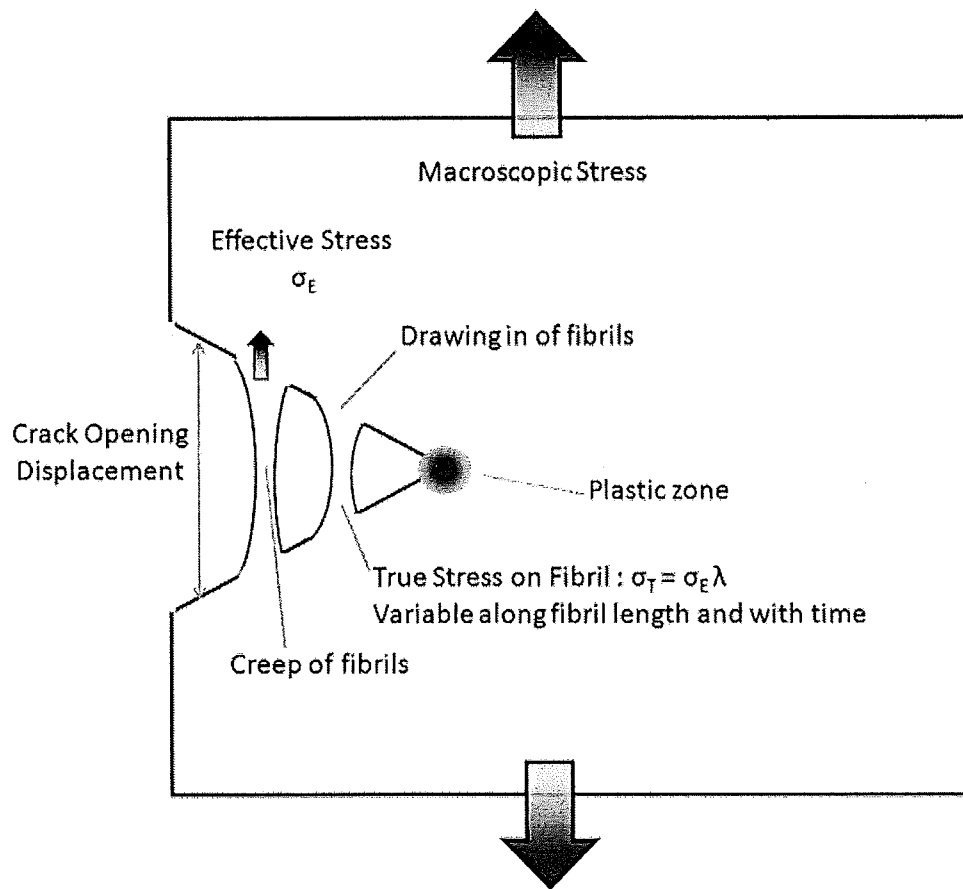


Figure 3 - Craze-crack and craze propagation represented schematically.

The propagation goes from left to right.

The principal stress acts in the up-down direction

Rajah 3 - Retak halus-retak dan perambatan retak halus telah dipamerkan secara skematik.

Perambatan telah berlaku dari kiri ke kanan.

Tekanan utama bertindak dalam arah atas dan bawah.

(50 marks/markah)

6. [a] With the aid of schematic curves, give your critical comments on Considère construction.

Dengan bantuan keluk skematik, berikan komen kritikal anda berkenaan "Considère construction".

(50 marks/markah)

- [b] A rubber consists of a cross-linked network of chains each of relative molecular mass (RMM) = 2×10^4 ; the density of the specimen is 900 kgm^{-3} . Calculate the shear modulus at 0°C .
Given, number Avogadro = $6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, Boltzmann's constant (k) = 1.38×10^{-23} .

Suatu getah mengandungi rangkaian sambung silang rantaian untuk setiap jisim molekul relatif (RMM) = 2×10^4 ; ketumpatan spesimen ialah 900 kgm^{-3} . Kirakan modulus ricihan pada 0°C . Diberikan, nombor Avogadro = $6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, Pemalar Boltzmann's (k) = 1.38×10^{-23} .

(50 marks/markah)

7. [a] A notched rectangular bar of polyoxymethylene (POM) with dimensions $a = 10 \text{ mm}$, $W = 20 \text{ mm}$, $S = 80 \text{ mm}$, and $B = 8 \text{ mm}$ undergoes plane strain fracture in three point bending test at 20°C at an applied force $F = 390 \text{ N}$ for geometry ($S/W = 4$).

$$Y = 1.09 - 1.73 (a/W) + 8.20 (a/W)^2 - 14.17 (a/W)^3 + 14.55 (a/W)^4$$

Calculate K_{IC} , and determine the applied force needed to fracture a compact tension specimen having $a = 25 \text{ mm}$, $W = 50 \text{ mm}$, and $B = 10 \text{ mm}$.

Satu bar bertakuk segiempat polioksimetilena (POM) dengan dimensi $a = 10 \text{ mm}$, $W = 20 \text{ mm}$, $S = 80 \text{ mm}$, dan $B = 8 \text{ mm}$ "plane strain fracture" dalam ujian lenturan tiga- titik pada 20°C pada daya yang dikenakan $F = 390 \text{ N}$ bagi geometri ($S/W = 4$).

$$Y = 1.09 - 1.73 (a/W) + 8.20 (a/W)^2 - 14.17 (a/W)^3 + 14.55 (a/W)^4$$

Kirakan K_{IC} , dan tentukan daya yang diperlukan untuk mematahkan spesimen ketegangan padat yang mempunyai $a = 25 \text{ mm}$, $W = 50 \text{ mm}$, dan $B = 10 \text{ mm}$.

(50 marks/markah)

- [b] A sharp, central crack of length 50 mm in a wide, thin sheet of a glassy plastic commences to propagate at $\sigma_F = 4.15$ MPa.
- (i) Calculate K_I
 - (ii) Calculate G_c ; given that $E = 3.5$ GPa
 - (iii) will a crack of length 2 mm in a similar sheet fracture under $\sigma = 10$ MPa?

Satu retak tajam tengah dengan panjang 50 mm, dalam kepingan lebar dan nipis daripada plastik berkaca mula merambat pada $\sigma_F = 4.15$ MPa.

- (i) Kirakan K_I*
- (ii) Kirakan G_c ; diberikan $E = 3.5$ GPa*
- (iii) adakah retak dengan panjang 2 mm dalam kepingan yang sama akan patah di bawah $\sigma = 10$ MPa?*

(50 marks/markah)